



**19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

**Offenlegungsschrift**  
**DE 197 54 878 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 65 H 77/00**

②1 Aktenzeichen: 197 54 878.4  
 ②2 Anmeldetag: 10. 12. 97  
 ④3 Offenlegungstag: 24. 6. 99

**DE 197 54 878 A 1**

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

**(72) Erfinder:**  
Wienholt, Willfried, Dr., 81737 München, DE;  
Schäffner, Clemens, Dr.-Ing., 82152 Planegg, DE;  
Liepold, Helmut, Dipl.-Ing., 91350 Gremsdorf, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

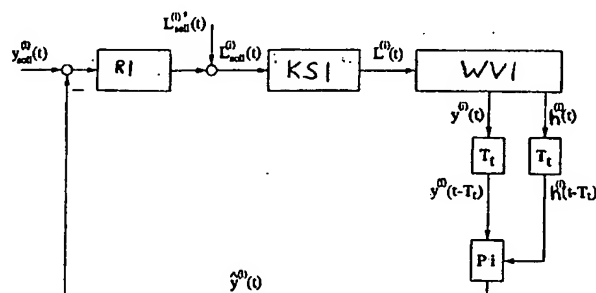
DE	41 16 081 C2
DE	29 32 396 C2
DE	27 41 083 C2
DE-AS	24 39 212
DE	1 96 04 652 A1
DE	1 95 31 692 A1
US	45 94 880

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

**Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt**

54) Verfahren und Anordnung zur Vorhersage und Regelung einer PapierwickelkenngroÙe bei einer Papierwickelvorrichtung

57) Zur Erzielung einer konstanten Aufrollagendicke beim Wickeln einer Papierbahn, die einen wesentlichen Güteparameter im Produktionsprozeß von Papier darstellt, wird als Einflußkraft die Linienkraft bzw. die Bahnzugkraft des Papiers korrigiert. Anhand von Messungen wird der Zusammenhang zwischen Kraft und Lagendicke bestimmt und einem Regler aufgeprägt. Bei Wickelvorrichtungen wird in der Regel vom Tambour auf eine Wickelstation aufgewickelt, so daß die Erfindung den Zusammenhang zwischen Aufwickel- und Abwickelvorgang dahingehend ausnutzt, daß die Veränderung der Lagendicke gemessen wird und mit diesen Meßwerten ein Prädiktor trainiert wird. Im laufenden Betrieb wird zur Regelung einer Papierwickelvorrichtung eine erfaßbare Meßgröße gemessen und mit dieser Meßgröße wird die Lagendickenänderung oder ein anderer korrelierter Qualitätsparameter bestimmt. Um die Totzeit, die durch die Messung auftritt, zu kompensieren, wird der Prädiktor mit den bestimmten Qualitätsparametern versorgt und sagt exakt die Größe voraus, die sich nach Ablauf der Totzeit ergeben wird, so daß in Bezug auf die Messung der prädiizierte Wert dem aktuellen Meßwert entspricht. Mit dieser Größe wird die Regeldifferenz gebildet und dem Regler zugeführt, der daraus die Korrekturkraft errechnet, mit der die aktuelle Solleinflußkraft der Papierwickelvorrichtung korrigiert wird. Auf diese Weise können konstante bzw. beliebig vorgebbare Wickellagenverläufe beim Papierwickelvorgang erzeugt werden.



DE 197 54 878 A 1

## DE 197 54 878 A 1

## Beschreibung

Bei der Herstellung von Papier wird dieses in bis zu 10 Meter breiten Bahnen auf einem Tambour zur Zwischenspeicherung und Weiterverarbeitung aufgewickelt. Der Durchmesser des Tambours kann dabei bis zu 3 Meter und mehr betragen. Bei ihrer weiteren Verarbeitung durchläuft diese Papierbahn einen Rollenschneider zur Konfektionierung nach kundenspezifischen Vorgaben, auf dem sie in Papierbahnbreiten unterschiedlicher Breite geschnitten und auf Hülzen aufgewickelt wird, welche an Kunden ausgeliefert werden können.

Bei der Herstellung dieser Kundenwickel treten einige papierspezifische Probleme auf: das Aufrollen des Papiers auf den Tambour erfolgt unter Zugspannung in horizontaler Richtung und durch Anpressung in radialer Richtung zur Hülse.

Dabei kommen viskoelastische Effekte des Papiers zum tragen. Durch den Aufrollmechanismus können dem Papier bereits verschiedenste Eigenschaften aufgeprägt worden sein, da die dabei angewendeten Kräfte in den jagen des Tambours gespeichert werden.

Beim Abrollen des Papiers vom Tambour auf eine Rolle wird dies wiederum tangentialen und radialen Kräften ausgesetzt. Das Ziel bei diesem Wickelvorgang ist es, die entstehende Papierrolle in einer optimalen Wickelhärte aufzurollen, so daß insbesondere kein teleskopieren der Papierrolle entsteht und auch keine plastische Verformung des Papiers innerhalb der Rolle eintritt. Da die Materialeigenschaften des gewickelten Papiers sortenspezifisch variieren, handelt es sich dabei um ein sehr komplexes Problem.

Üblicherweise dient als Maß für die Beurteilung der Qualität des entstehenden Wickels die Wickelhärte oder die Aufwickelhärte. Für diese Papierwickelkenngröße existieren unterschiedliche Definitionen, von denen eine beispielsweise die mittlere Lagendicke ist: während des Aufrollvorganges wird hier die Anzahl aufgewickelter Lagen und die Radiuszunahme bestimmt. Gemittelt über üblicherweise 100 Lagen erhält man so die mittlere Lagendicke. Um die mittlere Lagendicke zwischen einzelnen Papiersorten besser vergleichen zu können, bezieht man diese Größe auf die Papierdicke im entspannten Zustand der jeweiligen Sorte. Man erhält eine Kennzahl, die in der Regel kleiner als 1 ist. Je kleiner sie ist, um so härter ist die Rolle gewickelt; man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer hohen Wickelhärte. Im anderen Fall ist die mittlere normierte Lagendicke relativ groß, was mit einer niedrigen Wickelhärte korrespondiert. Üblicherweise trägt man diese Größen über den Durchmesser auf, wie z. B. in Fig. 2 dargestellt. Je nachdem, ob es sich dabei um eine Aufrollung oder Abrollung handelt, spricht man von Aufroll- bzw. Abrollkurven, oder auch von Aufrollagendickekurven. Der Verlauf einer solchen Kurve gibt Aufschluß über die Qualität der produzierten Wickel. Sie zeigt in der Regel starke Schwankungen, die eine Interpretation bezüglich der Qualität erheblich erschweren. In der Praxis wird ein Wickel als optimal gewickelt bezeichnet, wenn die Aufrollkurve mit Ausnahme von Beginn und Ende des Wickelvorganges einen sonst nahezu konstanten Verlauf hat. Zur Beurteilung zieht man den Mittelwert der Kurve heran.

Analog zur Aufrollwickelhärte ist eine Abrollwickelhärte bezüglich des Tambours definiert. Aus den Kurven in Fig. 2 kann erkannt werden, daß die Aufrollwickelkurve (AU) und die Abrollwickelkurve (AB) einander beeinflussen und das trotz der beim Wickelvorgang konstant gehaltenen Kraftverhältnisse, die Aufrollkurve in ihrem Verlauf der Abrollkurve des Tambours folgt. Ein solches Verhalten des Papierwickels beim Aufrollvorgang ist aber wie Eingangs geschildert, nicht gewünscht.

Das der Erfindung zugrunde liegende Problem besteht deshalb darin, ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, womit eine beim Papierwickelvorgang maßgebliche Papierwickelkenngröße vorhergesagt bzw. geregelt werden kann.

Diese Aufgabe wird für die Verfahren gemäß den Patentansprüchen 1 und 2 und für die Anordnungen gemäß den Patentansprüchen 7 und 8 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Vorteilhaft wird ausgenutzt, daß sich beim Abwickeln und beim Aufwickeln verschiedener Papierrollen das Verhalten des Papiers und der damit verbundenen Papierwickelkenngrößen ähnelt. Dieser Sachverhalt läßt sich ausnutzen, um einen Prädiktor zu trainieren, bzw. ihm dieses Verhalten aufzuprägen, um für künftige Wickelvorgänge das Verhalten der Papierwickelkenngröße vorhersagen zu können.

Vorteilhaft läßt sich das Ergebnis der Vorhersage der Papierwickelkenngröße dazu ausnutzen, um die üblicherweise bei Papierwickelvorrichtungen konstantgehaltenen Kräfte gemäß der gewünschten Sollpapierwickelkenngröße zu beeinflussen, indem einem Regler das einflußkraftabhängige Verhalten der Papierwickelkenngröße aufgeprägt wird und diesem eine aus der Sollwickelkenngröße und der prädierten aktuellen Papierwickelkenngröße gebildete Regeldifferenz zugeführt wird, woraus er eine Kompensationskraft bestimmt, die einer beim Wickelvorgang maßgeblichen Einflußkraft überlagert wird.

Vorteilhaft läßt sich das Verfahren und die Anordnung auch dann einsetzen, wenn die Papierwicklung von einem größeren Wickel auf kleinere Wickel erfolgt und das Papier dabei in Bahnen geschnitten wird.

Vorteilhaft läßt sich für den Fall, daß eine breite Papierbahn zerschnitten wird und auf schmalere Papierwickel aufgewickelt wird, das Ergebnis der verschiedenen prädierten aktuellen Papierwickelkenngrößen zu einer gemeinsamen Größe überlagern, um den Regler anzusteuern.

Vorteilhaft werden bei Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens bzw. Einsatz der vorgeschlagenen Anordnungen einfache Meßgrößen, wie der Radius des Papiers, bzw. die Winkelgeschwindigkeit der unterschiedlichen Papierrollen erfaßt, um die aktuelle Papierwickelkenngröße zu prädiieren, bzw. aus diesen Größen die Lagendicke zu bestimmen.

Besonders vorteilhaft lassen sich die vorgeschlagenen Verfahren bzw. Anordnungen sowohl zur Regelung der Linienkraft, als auch der Regelung der Bahnzugkraft als Einflußkraft einsetzen.

Vorteilhaft lassen sich als Prädiktor neuronale Netze und als Regler PID-Regler verwenden, da mit diesen Einrichtungen hinreichende Erfahrungen bestehen und kein großer Aufwand zum Training bzw. zur Anpassung dieser Einrichtungen an die spezielle Problematik beim Papierwickeln erforderlich ist.

Vorteilhaft lassen sich die vorgeschlagenen Anordnungen bei Papierrollenschneidern einsetzen, da dort hohe Qualitätsanforderungen bestehen und mittels der vorgeschlagenen Verfahren eine Verbesserung erzielbar ist.

Vorteilhaft kann das vorgeschlagene Verfahren und die vorgeschlagene Anordnung aber auch bei papierähnlichen Materialien eingesetzt werden, die ähnliche mechanische Eigenschaften, d. h. viskoelastisches Verhalten und elastisch/plastische Verformung, wie Papier aufweisen.

# DE 197 54 878 A 1

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Figuren weiter erläutert:

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Stützwalzenwicklers

Fig. 2 zeigt Aufroll- und Abrollkurven.

Fig. 3 und 4 zeigen Kraft-Lagendickenzusammenhänge

Fig. 5 zeigt einen Regelkreis für eine Wickelstation

Fig. 6 zeigt einen Regelkreis für mehrere Wickelstationen.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Stützwalzenwicklers mit dem Radius  $r$  als Wickelradius,  $F$  als der Bahnzugkraft vor der Stützwalze  $St$  und der Bahngeschwindigkeit  $v$ . Die Papierbahn ist mit  $P$  bezeichnet mit  $F_{AW}$  ist die eingewickelte Bahnzugkraft oder auch die Bahnkraft auf dem Wickel bezeichnet. Mit  $M_H$  ist das Antriebsmoment des Zentrumsantriebs der Wickelhülse bezeichnet und mit  $M_S$  das Antriebsmoment der Stützwalze, wobei der Wickel mit  $Wi$  und die Hülse mit  $Hul$  bezeichnet ist. Im Berührungspunkt der beiden Walzen, der auch als Nip  $Ni$  bezeichnet wird, tritt eine Linienkraft  $Lin$  auf, die mit mechanischen Einrichtungen beeinflusst werden kann. Auf dem Wickel  $Wi$  sind bereits mehrere Papierbahn übereinandergewickelt, was durch konzentrische Kreise angedeutet ist. In Fig. 1 ist der erste Papierwickel, der den Tambour darstellt nicht dargestellt, sondern lediglich der zweite Papierwickel  $Wi$  auf den die Papierbahn  $P$  aufgewickelt wird. Der erste Papierwickel von dem abgewickelt wird, befindet sich davor in Richtung der Kraft  $F$  und entspricht im wesentlichen dem zweiten Wickel, wobei er sich von diesem durch seine Breite unterscheiden kann.

Bei Papierwickelvorrichtungen, wie sie insbesondere auch bei Rollenschneidern von Papierrollen eingesetzt werden, spielen für die Kriterien der erzielbaren Qualität die Bedingungen im sogenannten Nip, in dem die beiden Papierseiten von den verschiedenen Walzen berührt werden, eine besondere Rolle. Die Bahnkraft  $F_{AW}$  hängt dabei von den Steuergrößen sowie von weiteren Einflußgrößen z. B. des Papiers und der Umgebung ab. Steuergrößen sind beispielsweise die Antriebsmomente  $M_S$  der Stützwalze  $St$  und des Zentrumsantriebs  $M_H$ , die Linienkraft  $Lin$ , mit welcher der Wickel  $Wi$  auf die Stützwalze  $St$  gepreßt wird, die Bahnzugkraft vor dem Nip  $F$ , sowie fallweise Reibdämpfereinstellungen, mit welchen vertikalen Bewegungen des Winkels  $Wi$  auf der Stützwalze  $St$  durch Hydraulikdämpfer oder durch Wirbelstrombremsen bedämpft werden. Einflußgrößen stellen beispielsweise die Papiereigenschaften, wie der Elastizitätsmodul, das Flächengewicht bezogen auf die Dichte, die Rauigkeit, die Glätte, die Feuchte, die Porosität und die Bruchdehnung des Papiers dar. Ebenso müssen beispielsweise von den Stützwalzeigenschaften deren Rauigkeit und Reibwert, sowie Geometriedaten wie beispielsweise die Papierbahnbreiten berücksichtigt werden.

Wie Fig. 2 zeigt, folgt der Verlauf einer Aufrollagendickenkurve  $AU$  dem Verlauf der Abrollagendickenkurve  $AB$  des Tambours. Nach oben ist die normierte Aufrollagendicke bzw. Abrollagendicke nach rechts der Durchmesser des Papierwickels, auf den aufgerollt wird, aufgetragen. Deutlich kann erkannt werden, daß die Aufrollagendickekurve  $AU$  den Verlauf der Abrollagendickenkurve des Tambours nachempfiehlt, obwohl bei gängigen Verfahren die Einflußkraft, welche die Linienkraft, bzw. in der Bahnzugkraft sein kann, konstant gehalten wird. Es gibt Abhandlungen, die den Einfluß der Kräfte während des Wickelvorgangs beschreiben: W. Wolfermann "Mathematischer Zusammenhang zwischen Bahnzugkraft und inneren Spannungen an Wickeln von elastischen Bahnen.", Dissertation der technischen Universität München 1976; H.-J. Schaffrath "Über das Kompressions-Reibverhalten von Papier vor dem Hintergrund des Rollenwickelns", Dissertation der technischen Universität Darmstadt, 1993. Dort wird ein mathematisch funktionaler Zusammenhang zwischen Bahnzug und physikalischen Größen hergestellt, die den Zustand des aufgewickelten Papiers, wie beispielsweise mittleren Lagendicke, Wickelhärte, Tangential- und Radialspannungen beschreiben. Bei diesen Arbeiten wird jedoch von idealisierten Voraussetzungen ausgegangen, weshalb eine Prognose der Wickelhärte im realen Betrieb mit Hilfe dieser Modelle allein nicht möglich ist. Insbesondere werden die Effekte am Nip, das ist die Stelle, an der Andruckrollen etc. das Papier auf die Hülse des Wickels drücken, vernachlässigt. Durch Einsatz der Verfahren und Anordnungen soll deshalb möglichst ein konstanter Verlauf dieser Papierwickelkenngröße erzielt werden, bzw. ein ausgeprägter gewünschter Verlauf dieser Papierwickelkenngröße vorgebar sein. In der Praxis besonders häufig vorkommende Papierwickelvorrichtungen sind Rollenschneider, auf denen hergestelltes Papier, das auf Tambours gespeichert wurde, kundenspezifisch konfektioniert wird. Solche Maschinen weisen eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten und Parametern auf, die im folgenden dargestellt sind.

- Maschinendaten: Randbeschnitt, Kurvennummer Bahnzug, Bremszeit, Nummer Rollenmaschine, Flächengewicht, Maximale Geschwindigkeit, Wurfnummer, Papiersorte, Kurvennummer Reibdämpfer, Kurvennummer Geschwindigkeit, Trimm.
- Rollendaten: Hülsendurchmesser, Durchmesser der Rolle, mittlere Wickelhärte, Kurvennummer, Länge der Rolle, Messernummer, Rollennummer, Stationsnummer, Breite der Rolle
- Tambourdaten: Tambourrestdurchmesser, Tambourrestlänge, Tambournummer
- Kurventelegramme: (Grund-/Soll- und Istkurven) stationsunabhängige Kurven: Bahnzug, Geschwindigkeit, Reibdämpferdruck, Kompensationsdruck (innen/außen), Strom Hauptantrieb, Strom Bremsgenerator, Wickelhärte Tambour, Anpreßdruck Andruckrollen (innen/außen).
- stationsspezifische Kurven: Zylinderdruck Aufrollstation, Anpreßdruck Andruckrollen, Drehmoment Zentrumsantrieb, Wickelhärte
- Datum, Fehler, Zustandsmeldungen, Uhrzeit

Die Maschinendaten enthalten generelle Angaben für den Wickelvorgang. Die Rollendaten werden vorzugsweise für jede produzierte Rolle bereitgestellt. Kurventelegramme geben dabei Auskunft über Soll- und Istkurven. Im wesentlichen sind dies die Bahnzug-, Geschwindigkeits- und Linienkraftkurven. Dabei wird für Rollenschneider mit mehreren Stationen insbesondere zwischen Kurven, die für alle Stationen gleich sind und solchen, die stationsspezifisch sind, unterschieden. Die meßbaren Daten an diesen Papierwickelvorrichtungen werden derzeit in Abhängigkeit des Durchmessers bereitgestellt, es ist jedoch auch die Bereitstellung in Abhängigkeit von der Zeit oder von anderen Meßgrößen der Vorrichtung denkbar.

In Vorbereitungsritten zur Erstellung der vorgeschlagenen Anordnung, bzw. des vorgeschlagenen Verfahrens müs-

## DE 197 54 878 A 1

sen von in Betrieb befindlichen Papierwickelvorrichtungen Daten erfaßt und gesammelt werden. Falls die Kurven für die Abrollung und die Aufrollung dabei durchmesserdiskret gemessen wurden, wird mit

$$d(n) = d_0 + n \cdot \Delta d \quad (1)$$

der Durchmesser zum Sample  $n$  definiert.  $\Delta d$  bezeichnet das Durchmesserinkrement. Analog bedeutet dann z. B.  $y(n)$  den Wert der Aufrollkurve zum Durchmesser  $d(n)$ . Wie die Fig. 3 und 4 zeigen, besteht eine Abhängigkeit zwischen der Einflußkraft und der Aufrollagendicke. In diesem Fall wurde als Einflußkraft der Bahnzug untersucht. Ähnliche Verläufe sind jedoch auch mit der Linienkraft als Einflußkraft denkbar.

Fig. 3 und 4 zeigen beispielsweise die Verläufe von unterschiedlichen Stationen eines Papierrollenschneiders. Nach rechts ist die Einflußkraft also der Bahnzug und nach oben die mittlere Lagendicke aufgetragen. Durch Untersuchungen an realen Papierwickelvorrichtungen, d. h. Messungen und Aufnahme der Werte ergeben sich Meßpunkte MP1, MP2, MP7 und MP9. Der Übersichtlichkeit halber sind hier nicht alle Meßpunkte bezeichnet. Aus diesen Erhebungen ergibt sich ein Zusammenhang Z10, bzw. Z20, der für die Regelung der Papierwickelkenngroße, in diesem Fall der mittleren normierten Lagendicke unter Verwendung einer Einflußkraft herangezogen werden kann. Insbesondere werden dazu in Abhängigkeit von verschiedenen Papiersorten bzw. für verschiedene Stationen individuell die Aufrollkurven zu verschiedenen Bahnzügen ermittelt. Trägt man dabei den Mittelwert dieser Kurven in Abhängigkeit des Bahnzuges auf, so ergibt sich in erster Approximation eine Trendgerade, die die Abnahme der mittleren Lagendicke mit zunehmenden Bahnzug charakterisiert, was der Beobachtung entspricht, das mit zunehmendem Bahnzug die Wickelhärte steigt. Diese Trendgeraden sind hier mit Z10 und Z20 bezeichnet. Es ergibt sich dabei folgender Zusammenhang:

$$\bar{Y}(F) = a_1 F + a_2 \quad (2).$$

Darin bedeutet  $\bar{Y}(F)$  die gemittelte Aufrollagendicke zum Bahnzug  $F$ . Die Steigerung  $a_1$  ist negativ. Dabei ist zu beachten, daß dieser funktionale Zusammenhang unabhängig vom Durchmesser ist. Für die spätere Verwendung in einem Regler benötigt man den umgekehrten Zusammenhang, der die Abhängigkeit des Bahnzuges von der gemittelten Aufrollagendicke angibt:

$$F(\bar{Y}) = \frac{\bar{Y} - a_2}{a_1} \quad (3)$$

Im allgemeinen Fall und insbesondere für den Fall, daß kein linearer Zusammenhang erkennbar und damit auch keine einfache Bildung der Umkehrfunktion möglich ist, werden diese Meßpunkte in Abhängigkeit der Einflußkraft einem neuronalen Netz oder einem anderen Funktionsapproximator zugeführt und dieses mit dem entsprechenden Zusammenhang trainiert. Das neuronale Netz  $NN_1$  lernt dabei durch Anpassen seiner Parameter  $w$  auf Grundlage dieser Daten und mittels bekannter Lernverfahren den Zusammenhang zwischen Kraft und mittlerer Lagendicke oder anderer Papierwickelkenngroße, auf Basis der Gleichung:

$$F(\bar{Y}) = NN_1(\bar{Y}, w) \quad (4).$$

Dieser Zusammenhang ist auch die Grundlage für das Regelverhalten des später beschriebenen Reglers.

Aus der bereits in Fig. 2 dargelegten Beobachtung, daß sich die Eigenschaften der Abrollung in der Aufrollung widerspiegeln, läßt sich ein Prädiktor, insbesondere ein neuronaler Prädiktor definieren, der aus den Kurvendaten der Auf- und Abrollung zu einem aktuellen Durchmesser, bzw. einer anderen meßbaren Kenngröße  $d(n)$  den Wert Aufrollung zum Durchmesser  $d(n+\Delta)$  prädiziert. Der Prädiktor kann durchaus auch andere/weitere Kenndaten als Eingangsgrößen nutzen. D. h. er prädiziert die aktuelle Aufrollagendicke als Papierwickelkenngroße. Mit  $x(n)$  als Abrollagendicke zum Durchmesser  $d(n)$  und  $y(n)$  als der Aufrollagendicke, sowie  $z(n)$  als Zustandsvariable, läßt sich ein neuronales Netz mit diesem nichtlinearen Zusammenhang der Form:

$$\hat{y}^{(i)}(n + \Delta) = NN_2(x(n), y^{(i)}(n), z^{(i)}(n), w^{(i)}) \quad (5)$$

zwischen zukünftiger Aufrollagendicke zum Durchmesser  $d(n+\Delta)$  und dem aktuellen Durchmesser  $d(n)$  zur Station  $i$  erstellen. Darin bedeuten  $w^{(i)}$  die Parameter des neuronalen Netzes  $NN_2$ . Der Index  $i$  bedeutet dabei einen Schätzwert,  $i$  die Nummer der Station, falls mehrere Aufwickelstationen eingesetzt werden und  $\Delta$  einen mit der Zeit korrelierten Wert. Aus Untersuchungen ergibt sich, daß sich auch eine einfachere Approximation verwenden läßt:

$$\hat{y}^{(i)}(n + \Delta) = w_1^{(i)} x(n) + w_2^{(i)} y^{(i)}(n) + w_3 + z^{(i)}(n + \Delta) \quad (6)$$

$$z^{(i)}(n + \Delta) = z^{(i)}(n) + w_4^{(i)} [y^{(i)}(n) - \hat{y}^{(i)}(n)] \quad (7)$$

$$z^{(i)}(0) = \dots = z^{(i)}(\Delta - 1) = 0 \quad (8).$$

Hieraus müssen für die jeweiligen Stationen  $i$  die Parameter  $w_2^{(i)}$  bestimmt werden. Dies geschieht in der Regel durch Minimieren einer Kostenfunktion mit Hilfe eines Gradientenverfahrens und der Werte von den gemessenen Abroll- und Aufrollkurven zu den unterschiedlichen Werten, d. h. Aufwickelvorgängen. Vorzugsweise werden diese Daten nach Papiersorten und innerhalb der Papiersorten nach verwendeten Stationen geordnet. Die besondere Struktur des neuronalen Netzes ermöglicht jedoch dabei ein vereinfachtes, zweistufiges Vorgehen. In einem ersten Schritt wird dabei  $z(n)$  für alle

## DE 197 54 878 A 1

n identisch 0 gesetzt und durch Lösen des sich ergebenden (überbestimmten) multilinearen Gleichungssystems die Parameter  $w_1^{(i)} \dots w_3^{(i)}$  berechnet. Hierzu können beispielsweise bekannte Standardverfahren, wie die Singulärwertzerlegung eingesetzt werden. In einem weiteren Schritt wird nun der Parameter  $w_4^{(i)}$  derartig bestimmt, daß der verbleibende Restfehler des multilinearen Modells minimiert wird.

Die einzelnen Prädiktionen  $\hat{y}^{(i)}(n + \Delta)$  werden vorzugsweise mit Hilfe eines weiteren neuronalen Netzes  $NN_3$  zu einer Kenngröße zusammengefaßt, falls mehrere Papierwickelstationen beim Aufrollvorgang eingesetzt werden. 5

$$\hat{y}(n + \delta) = NN_3(\hat{y}^{(i)}(n + \Delta)) \quad (9)$$

$$\hat{y}(n + \Delta) = \text{Mean}\{f\hat{y}^{(i)}(n + \Delta) | \text{Station } i \text{ aktiv}\} \quad (10) \quad 10$$

$$\hat{y}(n + \Delta) = \text{Max}\{\hat{y}^{(i)}(n + \Delta) | \text{Station } i \text{ aktiv}\} \quad (11).$$

Diese Maßnahme entspricht einer speziellen Realisierung eines "Mixing of Experts" mit neuronalen Netzen. Jeder Prädiktor stellt dabei einen Stationsspezifischen neuronalen Experten bezüglich der Aufrollagendicke oder einer anderen Papierwickelkenngröße dar und aus den Beiträgen aller Experten wird eine Eingangsgröße für den Regler gebildet. Da während eines Wickelvorgangs nicht immer alle Stationen aktiv sind, bzw. im Extremfall nur eine Station betrieben wird, werden vorzugsweise nur die Beiträge der aktiven Stationen berücksichtigt. 15

Wie Fig. 6 zeigt, dient der Prädiktionswert  $\hat{y}$  als Schätzung des Aufrollwertes zum Durchmesser  $d$  oder einer anderen zeitkorelierten Größe. Vorzugsweise wird dieser neben der Sollwertvorgabe für die Papierwickelkenngröße  $y_{\text{soll}}$  und der Sollwertvorgabe des Bahnzuges  $F'_{\text{soll}}$  beim Regelvorgang verarbeitet. Zu beachten ist, daß hier als Argument die Zeit verwendet und zur Vereinfachung der Darstellung eine Zeitverzögerung  $T_1$  für die betroffenen Stufen des Regelkreises angenommen wurde. Da jedoch derzeit sowohl Messungen, als auch das Modell für den Prädiktor durchmesserdiskret sind, ist der Durchmesser-Prädiktionshorizont  $\Delta$  so zu wählen, daß die Zeitverzögerung in den einzelnen Stufen kompensiert wird. 20 25

Dem Regler  $R$  wird beispielsweise eine Regeldifferenz aus der Sollwertvorgabe  $y_{\text{soll}}$  und dem Schätzwert  $\hat{y}(t)$  zugeführt. Er ist beispielsweise als PID-Regler ausgeführt und nutzt den Zusammenhang zwischen Kraft und mittlerer Lagendicke als Papierwickelkenngröße aus, der Eingangs ermittelt wurde. Vorzugsweise wird über den Regler  $R$  die einem Kraftregler  $KS$  vorgegebene Sollkraft  $F'_{\text{soll}}(t)$  korrigiert. Demgemäß wird durch Variation der Einflußkraft  $F_{\text{soll}}(t)$  des Kraftreglers  $KS$  an den einzelnen Wickelstationen  $S1$  bis  $S11$  der Wickelvorrichtung  $WV$  eine gewünschte Wickellagendicke bzw. ein gewünschter Wickellagendickeverlauf beim Wickelvorgang erzielt. Hierzu werden an den einzelnen Stationen  $S1$  bis  $S11$  für die Aufwicklung und an der Abwickelstation des Tambours  $AB$  Meßwerte erfaßt und daraus eine Lagendicke in Abhängigkeit einer Totzeit  $T_1$  bestimmt, wobei diese Totzeit für die Bestimmung bzw. Berechnung der Einflußgröße aus den Meßgrößen erforderlich ist. Demnach sind Prädiktoren  $P1$  bis  $P11$  vorgesehen, denen diese bestimmten Einflußgrößen zugeführt werden, und die zum aktuellen Zeitpunkt eine aktuelle Lagendicke präzisieren. D.h. durch die Prädiktoren wird die Totzeit kompensiert, die zur Bestimmung der Einflußgrößen aus den Meßgrößen vergeht. Falls mehrere Stationen vorgesehen sind, wie hier in Fig. 6 dargestellt, wird eine Kombinationseinheit  $KOM$  eingesetzt, welche die einzelnen Prädiktionsergebnisse auf geeignete Weise zu einem Schätzwert  $\hat{y}(t)$  überlagert. Der Kraftregler  $KS$  ist bei gängigen Papierwickelvorrichtungen bereits Stand der Technik und dient zum Konstanthalten der eingestellten Kraft  $F_{\text{soll}}(t)$ . Im vorgeschlagenen Regler  $R$  wird eine Korrekturkraft für die Kraft  $F'_{\text{soll}}(t)$  bestimmt. Der Regler verwendet dabei den Zusammenhang aus Formel 3, der sich hierzu wie folgt darstellen läßt: 30 35 40

$$\Delta F(n) = NN_1(\hat{y}(n)) - NN_1(y_{\text{soll}}(n)) \quad (12)$$

$$F_{\text{soll}}(n) = F'_{\text{soll}}(n) + \Delta F(n) \quad (13). \quad 45$$

Im Falle eines linearen Zusammenhangs gilt für die Korrektur beispielsweise:

$$\Delta F(n) = \frac{\hat{y}(n) - y_{\text{soll}}(n)}{a_1} \quad (14) \quad 50$$

Die Bahnzugkorrektur, bzw. die Korrektur der Linienkraft als Einflußkraft, kompensiert die beobachteten Schwankungen in der Aufrollkurve, weil bei einem zunehmenden Wert der Aufrollagendicke der Bahnzug erhöht, und bei abnehmender Aufrollagendicke im Vergleich zum Sollwert der Bahnzug reduziert wird. Wegen der mechanischen Eigenschaften des Papiers, d. h. prozeßbedingt, darf die Bahnzugkorrektur bestimmte Werte nicht über- bzw. unterschreiten. Aus diesem Grund ist bevorzugt eine Begrenzung vorzusehen, die beispielsweise durch Hardlimits gemäß: 55

$$F_{\text{soll}}(n) = \begin{cases} F_{\min} & F_{\text{soll}}(n) < F_{\min} \\ F_{\text{soll}}(n) & F_{\min} \leq F_{\text{soll}}(n) \leq F_{\max} \\ F_{\max} & F_{\text{soll}}(n) > F_{\max} \end{cases} \quad 60$$

oder auch durch Softlimits, die durch eine differenzierbare Begrenzungsfunktion gekennzeichnet sind, beispielsweise basierend auf der arctan-Funktion, realisiert werden. Bei komplizierteren Zusammenhängen ist auch die Verwendung eines neuronalen Netzes als Limiter denkbar. 65

Gemäß der vorliegenden Anordnung wird also eine Sollpapierwickelkenngröße durch eine prädisierte Papierwickel-

## DE 197 54 878 A 1

kenngröße korrigiert und in dem Regler R, der die Abhängigkeit der Einflußkraft von der Papierwickelkenngröße regelt, wird eine Sollkorrekturkraft erzeugt, die der Regeldifferenz aus prädizierter aktueller Papierwickelkenngröße und Sollpapierwickelkenngröße entspricht. Mit dieser Korrekturkraft wird der Kraftregler KS, welche die Einflußkraft der Wickelvorrichtung WV regelt, eine korrigierte Sollkraft  $F_{\text{soll}}^{(t)}$  (t) vorgegeben, um die Papierwickelkenngröße an den einzelnen Aufwickelstationen, bzw. zweiten Papierwickeln S1 bis S11 zu regeln. Fallweise können auch mehr oder weniger Aufwickelstationen an der Wickelvorrichtung vorgesehen sein. Es müssen ebenfalls nicht für jede Wickelvorrichtung Prädiktoren vorgesehen sein, sondern es können fallweise nur die Meßwerte solcher Aufwickelstationen aufgenommen und zu einer Schätzgröße prädiziert werden, von denen bekannt ist, daß sie sich am oberen, bzw. am unteren Ende der Streuung der Qualitätsparameter des Wickelprozesses befinden. D.h. es wird vorzugsweise eine besonders gute, bzw. eine besonders schlechte Station ausgewählt. Wie erkannt werden kann, wird bei dieser Wickelvorrichtung in Fig. 6, die Einflußkraft für alle Aufwickelstationen gleich geregelt. Es sind jedoch auch Fälle denkbar, in denen die Einflußkräfte je Wickelstation separat geregelt werden können. Bei solchen Anordnungen kann die Regelanordnung aus Fig. 5 Verwendung finden. Es soll nochmals betont werden, daß hier sowohl als Einflußkraft die Linienkraft, als auch die Bahnzugkraft zur Regelung der Wickelvorrichtung herangezogen werden kann.

Fig. 5 zeigt die Regelung der Linienkraft bei einer Wickelvorrichtung. Wie zuvor bei der Beschreibung von Fig. 6 erläutert wurde, kann jedoch ohne Beschränkung der Erfindung auch die Bahnzugkraft in entsprechender Weise geregelt werden, sofern die Bahnzugkräfte einzelner Wickelstationen F1 bis F11 separat regelbar sind. Die Darstellung in Fig. 5 unterscheidet sich von der in Fig. 6 lediglich dadurch, daß anstatt der Bahnzugkraft F eine Linienkraft L eingetragen ist und daß aufwickelrollenspezifische Regler RI bzw. KSI vorgesehen sind. Analog zur bekannten Funktionsweise aus Fig. 6 wird durch diesen Regler, bzw. diese Regelanordnung eine vorgegebene Sollpapierwickelkenngröße durch eine, die Vorgabekraft für den Kraftregler KSI beeinflussende Korrekturkraft geregelt, die aus einem prädizierten Schätzwert  $y^{(t)}$  (t) zur Bildung der Regeldifferenz, die dem Regler zugeführt wird, abgeleitet wurde. Mit WVI ist in Fig. 5 die individuelle einzelne Wickelvorrichtung bezeichnet. Es ist vorstellbar, daß neben der beschriebenen Regelung der Aufrollagendicke als Papierwickelkenngröße durch die Bahnzugkraft eine weitere Verbesserung erzielt werden kann, wenn ebenfalls, oder in Kombination mit der Bahnzugkraft, die Linienkraft geregelt wird. Charakteristisch ist dabei, daß die Solllinienkraft  $L'_{\text{soll}}$  durch den Regler RI beeinflusst und korrigiert wird und daß der an der Wickelvorrichtung bereits vorhandene Kraftregelkreis, der die Einflußkraft  $L^{(t)}$  (t) regelt ohne Änderung verwendet werden kann, so daß keine Änderung an vorhandenen Papierwickelvorrichtungen erforderlich ist. Diese sind üblicherweise in der Lage eine konstante Einflußkraft während des Wickelvorgangs zu regeln. In analoger Weise wie bei der Regelung mit der Bahnzugkraft als Einflußkraft, wird zunächst die Abhängigkeit der mittleren Aufrollagendicke als Papierwickelkenngröße von der Linienkraft als Einflußkraft ermittelt und durch eine lineare Trendgerade approximiert, bzw. der Zusammenhang durch einen Funktionsapproximator gelernt. Der Prädiktor PI wird anhand der bekannten Zusammenhänge aus Abwicklung des Tambours und Aufwicklung der Papierwickel geprägt. D.h. es müssen im Vorfeld ebenfalls Messungen mit unterschiedlichen Kräften vorgenommen werden und in analoger Weise, wie das bei Fig. 2 geschehen ist, für die Linienkraft aufgetragen werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage einer Papierwickelkenngröße einer Papierwickelvorrichtung, mit folgenden Merkmalen:
  - a) das Papier wird dabei von einer ersten Papierrolle abgewickelt und auf eine zweite Papierrolle (Wi) aufgewickelt;
  - b) in einem Vorbereitungsschritt wird in Abhängigkeit von mindestens einer zeitabhängigen meßbaren Kenngröße des Wickelvorganges (r) bei bekannter erster Einflußkraft (F, L) mindestens die erste Papierwickelkenngröße (x, h) der ersten und die zweite Papierwickelkenngröße (y) der zweiten Papierrolle bestimmt;
  - c) anhand der Ergebnisse aus dem Vorbereitungsschritt wird ein Prädiktor (PI) geprägt, der mindestens in Abhängigkeit einer ihm zugeführten ersten und zweiten Papierwickelkenngröße (x, y, h) und der Zeit eine zukünftige zweite Papierwickelkenngröße (y) prädiziert;
2. Verfahren zur Regelung einer Papierwickelkenngröße einer Papierwickelvorrichtung über eine die Papierwickelkenngröße beeinflussende Einflußkraft, mit folgenden Merkmalen:
  - a) das Papier wird dabei von einer ersten Papierrolle abgewickelt und unter Einwirkung der Einflußkraft (F, L) auf eine zweite Papierrolle (Wi) aufgewickelt;
  - b) in einem ersten Vorbereitungsschritt wird in Abhängigkeit von mindestens einer zeitabhängigen meßbaren Kenngröße des Wickelvorganges (r) bei konstanter erster Einflußkraft (F, L) mindestens die erste Papierwickelkenngröße (x, h) der ersten und die zweite Papierwickelkenngröße zweiten Papierrolle (y) bestimmt;
  - c) in einem zweiten Vorbereitungsschritt wird in Abhängigkeit von mindestens der meßbaren Kenngröße des Wickelvorganges (r) bei bekannter zweiter Einflußkraft (F, L) mindestens die zweite Papierwickelkenngröße (y), sowie die Zeitdauer für den Bestimmungsvorgang als Bestimmungszeit ( $T_t$ ) bestimmt;
  - d) anhand der Ergebnisse aus dem ersten Vorbereitungsschritt wird ein Prädiktor (PI) geprägt, der mindestens in Abhängigkeit einer ihm zugeführten zweiten Papierwickelkenngröße (y) und der Zeit mindestens eine zukünftige zweite Papierwickelkenngröße (y) prädiziert;
  - e) anhand mindestens der Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Vorbereitungsschritt wird ein Regler (R) geprägt, der in Abhängigkeit der ihm zugeführten Papierwickelkenngröße (y) eine dieser Papierwickelkenngröße zugehörige Einflußkraft (F, L) regelt;
  - f) beim Regelvorgang wird dem Regler eine soll-zweite-Papierwickelkenngröße ( $y_{\text{soll}}$ ) zugeführt, mindestens die zweite Papierwickelkenngröße (y) wird an der Papierwickelvorrichtung als aktuelle Papierwickelkenngröße (y) bestimmt, die Papierwickelkenngröße wird mit der Bestimmungszeit ( $T_t$ ) und der aktuellen Papierwickelkenngröße (y) vom Prädiktor als prädizierte Papierwickelkenngröße prädiziert und daraus mit der soll-

## DE 197 54 878 A 1

- zweite-Papierwickelkenngroße wird eine Regeldifferenz gebildet, die dem Regler (R) zur Regelung der Einflußkraft (F, L) zugeführt wird.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Papier beim Wickeln in Bahnen geschnitten und auf mindestens zwei zweite Papierrollen (Wi) aufgewickelt wird.
  4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, bei dem die Ergebnisse der Prädiktoren (PI) zu einer gemeinsamen Papierwickelkenngroße ( $\hat{y}$ ) verarbeitet werden. 5
  5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem als Papierwickelkenngroße die Lagendicke des Papiers und/oder als meßbare Kenngröße die Winkelgeschwindigkeit einer Papierrolle und oder der Radius (r) einer Papierrolle und/oder als Prädiktor (PI) ein neuronales Netz verwendet wird.
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem als Einflußkraft die Linienkraft (L) und/oder die Bahnzugkraft (F) geregelt wird. 10
  7. Anordnung zur Vorhersage einer Papierwickelkenngroße einer Papierwickelvorrichtung, mit folgenden Merkmalen:
    - a) sie weist eine erste und mindestens eine zweite Papierrolle (Wi) auf, wobei das Papier von der ersten Papierrolle abgewickelt und auf die zweite Papierrolle aufgewickelt wird; 15
    - b) sie weist mindestens ein Prädiktionsmittel (PI) auf das anhand der Ergebnisse aus einem Vorbereitungsschritt geprägt wurde, wozu in Abhängigkeit von mindestens einer zeitabhängigen meßbaren Kenngröße (r) des Wickelvorganges mindestens die erste Papierwickelkenngroße (x, h) der ersten und die zweite Papierwickelkenngroße zweiten Papierrolle (y) bestimmt wurde und das mindestens in Abhängigkeit einer ihm zugeführten ersten und zweiten Papierwickelkenngroße (x, y, h) und der Zeit eine zukünftige zweite Papierwickelkenngroße (y) präzidiert; 20
    - c) sie weist Bestimmungsmittel (WV) zur Bestimmung der Papierwickelkenngroße aus der meßbaren Kenngröße auf;
    - d) sie weist Meßmittel (SI) zum messen der Kenngröße auf.
  8. Anordnung zur Regelung einer Papierwickelkenngroße einer Papierwickelvorrichtung über eine die Papierwickelkenngroße beeinflussende Einflußkraft, mit folgenden Merkmalen: 25
    - a) sie weist eine erste und mindestens eine zweite Papierrolle (Wi) auf, wobei das Papier von der ersten Papierrolle abgewickelt und unter Einwirkung der Einflußkraft (F, L) auf die zweite Papierrolle aufgewickelt wird;
    - b) sie weist mindestens ein Prädiktionsmittel (PI) auf, das anhand der Ergebnisse aus einem ersten Vorbereitungsschritt geprägt wurde, wozu in Abhängigkeit von mindestens einer zeitabhängigen meßbaren Kenngröße (r) des Wickelvorganges bei bekannter erster Einflußkraft (F, L) mindestens die erste Papierwickelkenngroße (x, h) der ersten und die zweite Papierwickelkenngroße (y) zweiten Papierrolle (Wi) bestimmt wurde und das mindestens in Abhängigkeit einer bestimmten und ihm zugeführten ersten und zweiten Papierwickelkenngroße (x, h, y) und einer Bestimmungszeit (T<sub>i</sub>) eine zukünftige zweite Papierwickelkenngroße (y) präzidiert; 30
    - c) sie weist Bestimmungsmittel (T<sub>i</sub>) zur Bestimmung der Papierwickelkenngroße (y) aus der meßbaren Kenngröße (r) innerhalb der Bestimmungszeit (T<sub>i</sub>) auf;
    - d) sie weist Meßmittel (SI) zum messen der Kenngröße auf.
    - e) sie weist einen Regler (R) auf, der anhand mindestens der Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Vorbereitungsschritt geprägt wurde, wozu in Abhängigkeit von mindestens der meßbaren Kenngröße (r) des Wickelvorganges bei bekannter zweiter Einflußkraft (F, L) mindestens die zweite Papierwickelkenngroße (y), sowie die Zeitdauer für den Bestimmungsvorgang (T<sub>i</sub>) als Bestimmungszeit bestimmt wurde, der in Abhängigkeit der ihm zugeführten Papierwickelkenngroße (y) eine dieser Papierwickelkenngroße zugehörige Einflußkraft (F, L) regelt, wobei beim Regelvorgang eine sollzweite-Papierwickelkenngroße ( $y_{soll}$ ) vorgegeben wird, mindestens die zweite Papierwickelkenngroße (y) an der Papierwickelvorrichtung (WV) als aktuelle Papierwickelkenngroße (y) durch die Bestimmungsmittel (T<sub>i</sub>) bestimmt wird, die Papierwickelkenngroße (y) mit der Bestimmungszeit (T<sub>i</sub>) und der aktuellen Papierwickelkenngroße (y) vom Prädiktor (PI) als präzidierte Papierwickelkenngroße (y) präzidiert wird und daraus mit der soll-zweite-Papierwickelkenngroße eine  $y_{soll}$  Regeldifferenz gebildet wird, die dem Regler (R) zur Regelung der Einflußkraft (F, L) zugeführt wird. 40
  9. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, bei der mindestens als Prädiktor (PI) ein neuronales Netz vorhanden ist. 50
  10. Anordnung nach Anspruch 8, bei der als Regler (R) ein PID-Regler vorhanden ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl.<sup>6</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 197 54 878 A1  
B 65 H 77/00  
24. Juni 1999

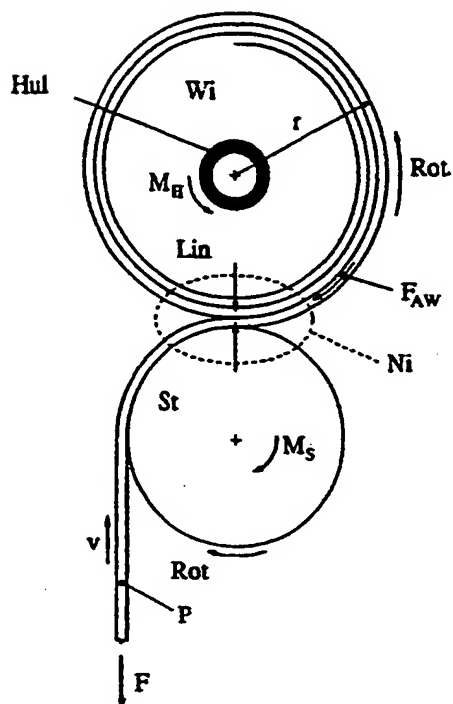
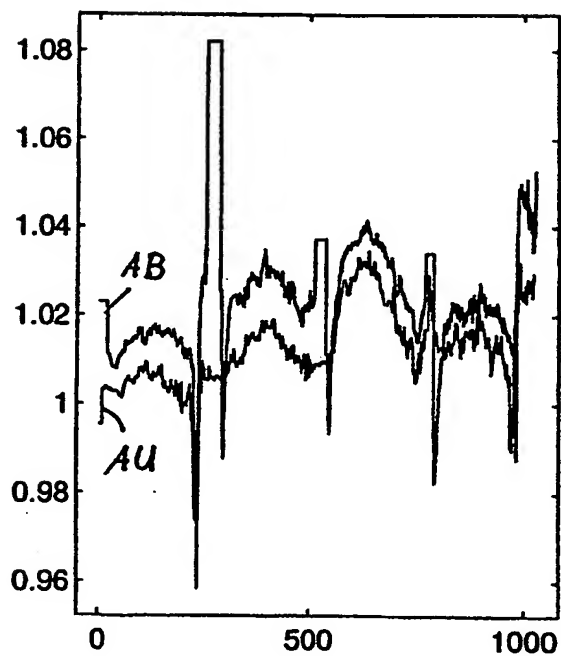
**Fig 1****Fig 2**

Fig 3

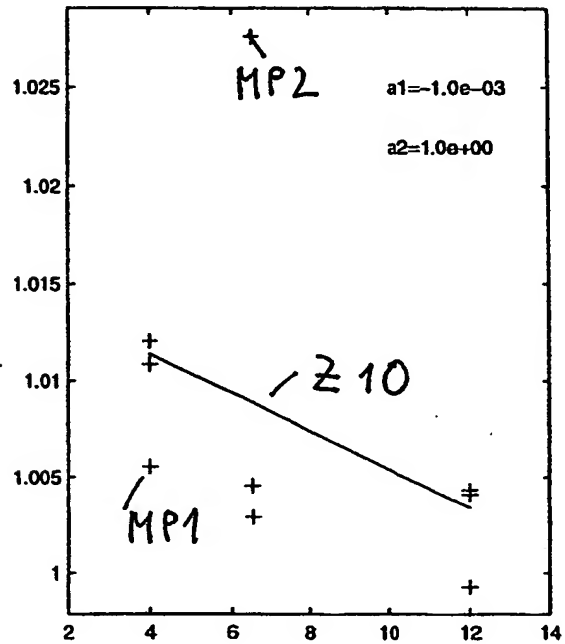
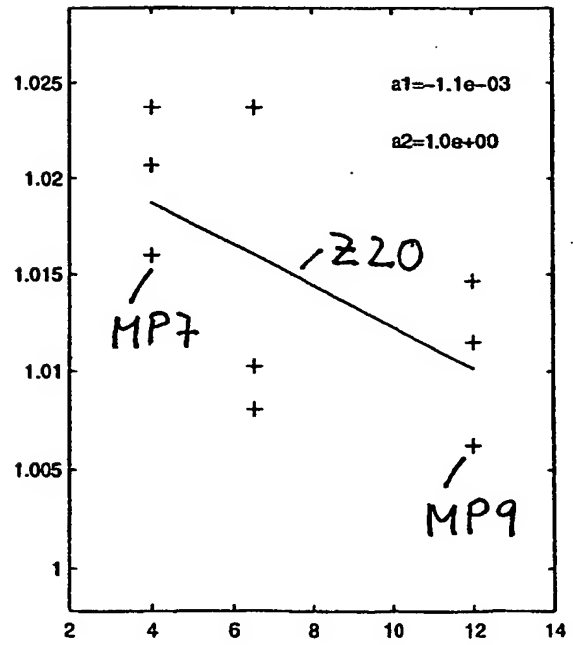


Fig 4

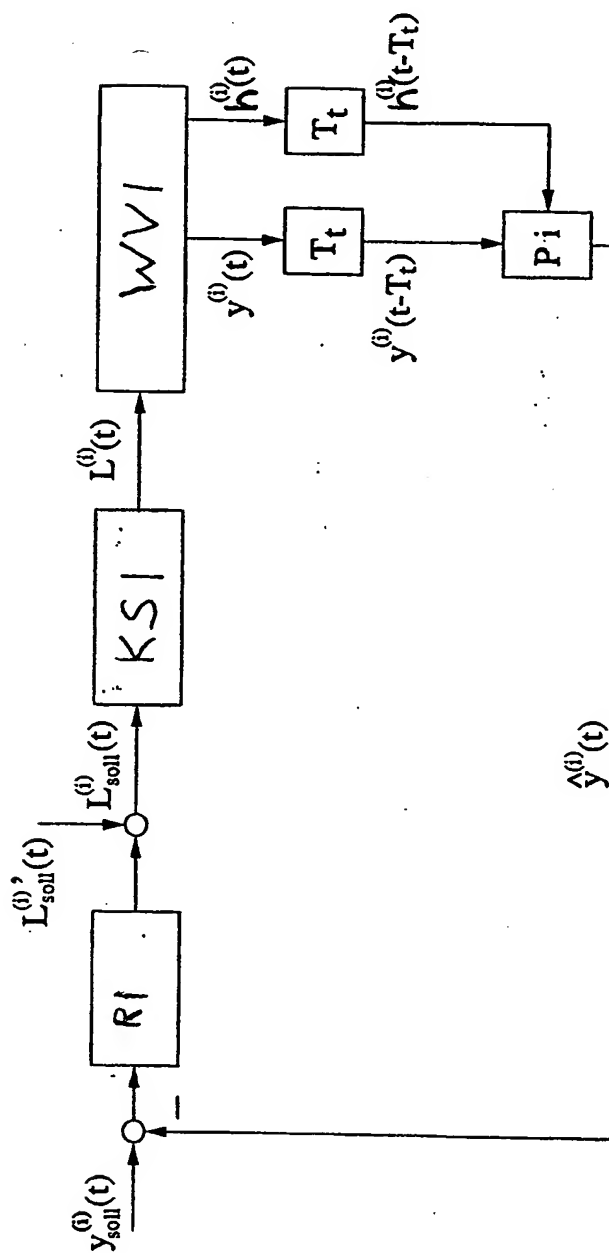


ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer:  
Int. Cl.<sup>6</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 197 54 878 A1  
B 65 H 77/00  
24. Juni 1999

Fig 5



ZEICHNUNGEN SEITE 4

Nummer:  
Int. Cl.<sup>6</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 197 54 878 A1  
B 65 H 77/00  
24. Juni 1999

Fig 6

